

УДК 621.791.011

Слупська Ю.С., PhD., доцент кафедри механічної і біомедичної інженерії.
(Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна)

**ДОСЛІДЖЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ПАРАМЕТРАМИ
ЗВАРЮВАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ ТА СТРУКТУРНИМ СТАНОМ МАТЕРІАЛУ**

Для вивчення зв'язку між енерговитратами та геометричними параметрами зон зварного з'єднання після лазерного зварювання був використаний математичний апарат кореляційного аналізу. В якості вихідних даних були використані результати експериментальних підрахунків геометричних параметрів зон зварного з'єднання, які були наведені в роботі [1]. Кореляційний аналіз проводився для сталей марок 09Г2С та 10ХСНД після використання зазначеного режиму зварювання.

У таблиці 1 наведено значення енерговкладу після лазерного зварювання.

Визначення величини енерговкладу проводилося за допомогою наступної формули:

$$J_{\text{плт}} = \frac{P}{VD} \quad (1)$$

де P – потужність джерела, кВт; V – швидкість процесу, м/с; D – діаметр пучка, мм.

Таблиця 1.

Величина енерговкладу для лазерного зварювання

Тип з'єднання	P потужність зварювання, кВт	V Швидкість зварювання, м/с	D діаметр променя, мм	J _{плт.} , МДж/м ²
Лазерне зварювання	4,4	25·10 ⁻³	0,6	293

У таблиці 2 наведено відповідні результати впливу теплоти вкладення J_{плт} на геометричний розмір зон зварного з'єднання.

Таблиця 2

Вплив теплоти вкладення J_{плт} на геометричний розмір зон зварного з'єднання

Лазерне зварювання		
Зони зварного з'єднання	Марка сталі	
	09Г2С	10ХСНД
Зварний шов	0,443533	0,064018
Границя зварний шов – зона термічного впливу.	0,992065	0,998705
Зона термічного впливу	0,646221	0,999980
Границя зони термічного впливу-основний метал	0,998705	0,927648

Аналіз даних, поданих у таблиці 2, підтверджує, що для всіх вивчених марок сталі під час лазерного зварювання спостерігається прямий тісний зв'язок між енерговкладенням та геометричними розмірами границь між відповідними зонами зварного з'єднання.

Аналіз взаємозв'язку між геометричними розмірами зон зварного з'єднання проводився за допомогою побудови кореляційної матриці взаємозв'язку. Загальний вигляд отриманої матриці приведено в таблиці 3. Аналіз отриманих даних свідчить, що під час лазерного зварювання сталі 09Г2С, 10ХСНД збільшення геометричних розмірів зварного шва призводить до зменшення розмірів зон контакту. Водночас, для всіх двох досліджуваних марок сталі спостерігається прямий тісний зв'язок між геометричними розмірами зон термічного впливу та границею зварного шва. Це свідчить про те, що теплова енергія зварювання концентрується в досить вузькій області. Крім того, на границях між зоною розплавлення та іншими зонами зварного з'єднання одночасно

відбуваються процеси кристалізації з рідкого стану та фазової перекристалізації [2].

Таблиця 3

Кореляційна матриця взаємозв'язку між геометричними розмірами зон зварного з'єднання

	Сталь							
	09Г2С				10ХСНД			
	Зварний шов	Границя зварний шов – зона термічного впливу.	Зона термічного впливу	Границя зони термічного впливу-основний метал	Зварний шов	Границя зварний шов – зона термічного впливу.	Зона термічного впливу	Границя зони термічного впливу-основний метал
Зона I	1,000	0,327	0,397	0,397	1,000	0,114	0,057	0,313
Зона II	0,327	1,000	0,997	0,737	0,114	1,000	0,998	0,907
Зона III	0,397	0,997	1,000	0,684	0,057	0,998	1,000	0,930
Зона IV	0,397	0,737	0,684	1,000	0,313	0,907	0,930	1,000

Аналіз отриманих даних свідчить, що під час лазерного зварювання сталі 09Г2С, 10ХСНД збільшення геометричних розмірів зварного шва призводить до зменшення розмірів зон контакту. Водночас, для всіх двох досліджуваних марок сталі спостерігається прямий тісний зв'язок між геометричними розмірами зон термічного впливу та границею зварного шва. Це свідчить про те, що теплова енергія зварювання концентрується в досить вузькій області. Крім того, на границях між зоною розплавлення та іншими зонами зварного з'єднання одночасно відбуваються процеси кристалізації з рідкого стану та фазової перекристалізації [2].

Для оцінки взаємозв'язку між енерговитратами та структурним станом зварного з'єднання використовувався математичний апарат попарного кореляційного аналізу [3-5]. В якості вихідних даних були використані експериментальні результати щодо кількісного аналізу відсоткового вмісту структурних компонентів фериту та перліту у зонах зварного з'єднання, які були описані у роботі [1]. Отримані кореляційні матриці були узагальнені та наведені у таблицях 4 і 5.

Таблиця 4

Кореляційна матриця взаємозв'язку впливу теплоти вкладення $J_{\text{пит}}$ та, відсотковим вмістом феритної складової

Вміст відсоткової складової	Марка сталі	
	09Г2С	10ХСНД
Ферит зони 2	0,993221	0,997949
Ферит зони 3	0,879135	0,977010
Ферит зони 4	0,993221	0,930711

Аналіз даних, представлених в таблицях 4 і 5, підтверджує прямий тісний зв'язок між відсотковим вмістом феритної складової у зонах зварного з'єднання та відповідним енерговкладанням. При використанні вказаного режиму зварювання з віддаленням від зони сплавлення спостерігається зниження зв'язку між енерговкладанням та відсотковим вмістом. Це пояснюється локальним нагріванням та, відповідно, більшою швидкістю охолодження. З точки зору структури це призводить до перерозподілу дифузійних потоків вуглецю та формування більш розширеної перлітної складової або структури за проміжним механізмом.

Таблиця 5

Кореляційна матриця взаємозв'язку впливу теплоти вкладення $J_{\text{пит}}$ та, відсотковим вмістом перлітної складової

Вміст відсоткової складової	Марка сталі	
	09Г2С	10ХСНД
Перліт зони 2	0,941043	0,980241
Перліт зони 3	0,879135	0,992065
Перліт зони 4	0,941043	0,992065

Аналізуючи залежність між енерговитратами та утворенням перліту, можна прийти до висновку, що при лазерному зварюванні у всіх зонах зварного з'єднання енерговитрати мають прямий вплив на вміст перлітної складової. Це пояснюється перерозподілом дифузійних та теплових потоків, які створюють відповідні умови для фазових перетворень за механізмом дифузії. Результати кореляційного аналізу взаємозв'язку між відсотковим вмістом структурних складових та геометричними розмірами зон зварного з'єднання після відповідного зварювання наведено в таблиці 6.

Таблиця 6

Кореляційна матриця взаємозв'язку між відсотковим вмістом структурних складових та геометричним розміром зон зварного з'єднання

Зони зварного з'єднання	Марка сталі			
	09Г2С		10ХСНД	
	Ферит	Перліт	Ферит	Перліт
Границя зварний шов – зона термічного впливу.	0,970725	0,891042	0,993399	0,989036
Зона термічного впливу	0,853750	0,853750	0,978352	0,991241
Границя зони термічного впливу-основний метал	0,553134	0,349957	0,999966	0,873332

Дані аналізу підтверджують прямий зв'язок між геометричними розмірами зон зварного з'єднання та відповідними структурними компонентами. Отримані кореляційні дані узгоджуються як з результатами теоретичних досліджень, так і з результатами відповідних металографічних досліджень, зазначених у роботі [1].

Список використаних джерел:

- Slupska Y., Laukhin D., Beketov O., Babenko E., Rott N., Dytiuk V. Metallographic analysis of potential areas of destruction initiation of the zone of thermal impact of low-carbon steels after laser welding. *Materials Science and Industrial Mechine-Building*. № 65. P. 88-98.
- Слупська Ю.С. Особливості моделювання процесів формування структури в зварних з'єднаннях низьковуглецевих низьколегованих сталей: дис. ... доктора філософії: 132 / Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». Дніпро, 2021. 263 с.
- Шапочка М.К., Маценко О.М. Теорія статистики: навчальний посібник / М.К. Шапочка, О.М. Маценко. Суми «Університетська книга», 2014. 312 с.
- Фетісов В. С. Пакет статистичного аналізу даних STATISTICA: навчальний посібник / В. С. Фетісов. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2018. 114 с.
- Мамчич Т.І., Оленко А.Я., Осипчук М.М., Шпортюк В.Г. Статичний аналіз даних з пакетом STATISTICA. Навчально-методичний посібник. – Дрогобич: Видавнича фірма «Відродження», 2006. 208с.